

Índice general

Capítulo 1 Introducción	12
1.1. Planteamiento del problema	12
1.2. Lugar de aplicación	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Metodología de trabajo.....	14
1.5. Propuesta de solución general	15
Capítulo 2 Marco teórico.....	17
2.1. Sistema de refrigeración	17
2.2. Ciclos de refrigeración.....	19
2.3. Ciclo de refrigeración mediante compresión de vapor.....	21
2.3.1. Principios de funcionamiento	21
2.3.2. Ecuaciones básicas	23
2.4. Refrigerante	26
2.5. Sensores y actuadores	31
2.5.1. Tipos de sensores.....	32
2.6. Comunicación serial	33
2.6.1. Bus serial RS-485	33
2.7. Análisis de desempeño	34
2.7.1. Coeficiente de operación (COP).....	34
2.8. Funcionamiento del sistema actual.....	36
2.8.1. Equipamiento actual	36

2.9. Procedimiento Experimental	37
Capítulo 3	49
3.1. Estrategia de control	49
3.1.1. Control del ciclo	50
3.1.2. Control PID	51
3.1.2.1. Teoría de control PID	52
3.1.2.2. Término proporcional	52
3.1.2.3. Término integral	53
3.1.2.4. Término derivativo	54
3.1.3. Reglas de ajuste control PID	55
3.1.3.1. Método Ziegler-Nichols	55
3.1.3.2. Método de sintonización Ziegler-Nichols tradicional	55
3.1.4. Ajuste PID para el sistema.....	57
3.1.5. Especificaciones de respuesta transitoria	59
3.1.5.1. Respuesta del método de Ziegler-Nichols.....	61
3.1.6. Análisis de Polo-Cero del controlador PID	62
3.2. Simulación dinámica	63
3.3. Simulación del sistema	67
3.3.1. Diagrama de Bode	70
Capítulo 4 Propuesta de instrumentación, diseño y monitorización	71
4.1. Esquema de diseño e instrumentación.....	71
4.2. Controladores	72
4.2.1. Interlink ECM20.....	72
4.2.2. Eliwell EWCR500LX.....	74
4.2.3. Sistema controlador a partir de módulo Arduino	75

4.3. Instalación de sensores	92
4.3.1. Sensores de temperatura	92
4.3.2. Comunicación de sensores y Arduino	92
Capítulo 5 Conclusiones y trabajos futuros	94
5.1. Conclusiones.....	94
5.2. Trabajos futuros.....	95
Bibliografía.....	96

Índice de figuras

Figura 1.1: Esquema del ciclo de refrigeración	12
Figura 1.2: Esquema de control en lazo cerrado.....	26
Figura 1.3: Esquema de control equipos en serie.....	16
Figura 2.1: a) Sistema de refrigeración convencional.....	18
Figura 2.1: b) Fenómenos del ciclo de refrigeración.....	18
Figura 2.2: Banco de refrigeración.....	19
Figura 2.3: Diagrama Presión vs Entalpía.....	20
Figura 2.4: a) Esquema ciclo refrigeración.....	22
Figura 2.4: b) Diagrama T-S.....	22
Figura 2.4: c) Esquema sistema ideal.....	22
Figura 2.5: Esquema sistema real.....	22
Figura 2.6: Clasificación más común de los sensores.....	32
Figura 2.7: Esquema de cableado BUS RS-485.....	33
Figura 2.8: Lugar de mediciones en procedimiento experimental.....	38
Figura 3.1: Diagrama de flujo de control	49
Figura 3.2: Diagrama de bloque para el control del ciclo	50
Figura 3.3: a) Sistema sin sintonizar con PWM en la parte superior.....	51
Figura 3.3: b) Sistema sintonizado con PWM en la parte superior.....	51
Figura 3.4: Curva de respuesta para el método Ziegler-Nichols.....	56
Figura 3.5: Curva de respuesta obtenida para el método Ziegler-Nichols.....	57
Figura 3.6: Curva de respuesta obtenida para los valores del controlador.....	58
Figura 3.7: Respuesta transitoria.....	59
Figura 3.8: Respuesta transitoria obtenida.....	60
Figura 3.9: Curva de respuesta utilizando el método Ziegler-Nichols.....	61
Figura 3.10: Esquema Polo-cero del controlador PID.....	63
Figura 3.11: Circuito circulación del refrigerante.....	64
Figura 3.12: Transferencia de calor en el compartimiento del congelador.....	65
Figura 3.13a: Ecuaciones térmicas traspasadas a Simulink	68
Figura 3.13b: Esquema del sistema a controlar.....	69

Figura 3.14: Respuesta control PID sin sintonizar.....	69
Figura 3.15: Respuesta control PID sintonizado.....	69
Figura 3.16: Diagrama de Bode.....	70
Figura 4.1: Configuración del banco de refrigeración.....	71
Figura 4.2: Controlador Interlink ECM20.....	72
Figura 4.3: Modo de operación 1 y 2.....	72
Figura 4.4: Modo de operación 3.....	73
Figura 4.5: Modo de operación 4.....	73
Figura 4.6: Controlador Eliwell EWRC500LX.....	74
Figura 4.7: Configuración monitoreo de red.....	75
Figura 4.8: Diagrama de cableado.....	75
Figura 4.9: Esquema de monitoreo y adquisición de datos.....	76
Figura 4.10: Arduino UNO.....	77
Figura 4.11: Módulo relé.....	78
Figura 4.12: Partes módulo relé.....	78
Figura 4.13: Circuito esquemático módulo relé.....	79
Figura 4.14: Conexión Arduino con módulo de relés.....	81
Figura 4.15: Conexión placa relé con fuente de alimentación externa.....	81
Figura 4.16: Placa multiplexor/demultiplexor.....	82
Figura 4.17: Conexión multiplexor con la placa Arduino.....	83
Figura 4.18: Sensor de corriente.....	84
Figura 4.19: Conexión de sensor de corriente con el Arduino.....	84
Figura 4.20: Termistor NTC 10K.....	85
Figura 4.21: Conexionado de termistor con el Arduino.....	85
Figura 4.22: Conexión de todas las partes utilizadas en el proyecto.....	86
Figura 4.23: Diagrama de funcionamiento transductor de presión.....	87
Figura 4.24: Módulo RS-485.....	88
Figura 4.25: Módulo RS-485 configurado como transmisor.....	88
Figura 4.26: Módulo RS-485 configurado como receptor.....	89
Figura 4.27: Módulo RS-485 configurado multipunto half duplex.....	89
Figura 4.28: Esquema de monitoreo y adquisición de datos.....	91

Figura 4.29: Instalación de sensores de temperatura.....	92
Figura 4.30: Esquema de interacción de software.....	93
Figura 4.31: Secuencia de tareas a realizar en el software.....	93

Índice de tablas y gráficos

Tabla 2.1: Propiedades físicas refrigerante R-134 ^a entregada por Dupont.....	27
Tabla 2.2: Compatibilidad del refrigerante con distintos materiales.....	28
Tabla 2.3: Propiedades del refrigerante entregada por Dupont.....	29
Tabla 2.4: Datos obtenidos del compresor.....	39
Tabla 2.5: Datos obtenidos del condensador.....	39
Tabla 2.6: Datos obtenidos de la válvula de expansión.....	39
Tabla 2.7: Datos obtenidos del evaporador.....	40
Tabla 2.8: Datos obtenidos del flujo de aire.....	40
Tabla 2.9: Datos físicos del evaporador.....	40
Tabla 2.10: Valores puntos ciclo de refrigeración.....	42
Tabla 2.11: Calores y trabajos en el ciclo de refrigeración.....	42
Tabla 2.12: Coeficientes de realización ideales y reales.....	43
Tabla 2.13: Valores Velocidad promedio y calor cedido al ambiente.....	44
Tabla 3.1: Método de ajuste Ziegler-Nichols.....	56
Tabla 3.2: Valores de ajuste Ziegler-Nichols obtenidos.....	58
Tabla 3.3: Respuesta transitoria del método de ajuste de Ziegler-Nichols.....	62
Gráfico 2.1: Presión vs temperatura del refrigerante entregado por Dupont.....	28
Gráfico 2.2: COP vs entropía.....	44
Gráfico 2.3: Masa refrigerante vs tiempo.....	45
Gráfico 2.4: Capacidad del refrigerante en el tiempo.....	45
Gráfico 2.5: Rendimiento térmico de compresión.....	46
Gráfico 2.6: Rendimiento volumétrico del compresor.....	46